

Compte rendu - Eco Responsabilité pour l'ingénieur

Etude du cycle de vie d'un pneu



Source : Image générée

Encadrée par Madame Touhami

Année 2023 - 2024

Table des matières

Page de garde.....	
Table des matières.....	1
Liste des figures	1
Liste des tableaux	1
Résumé	2
Abstract	2
1)Introduction	3
2)Matériels et méthodes	3
3)Résultats	6
4)Discussion	11
5)Conclusion	13
6)Bibliographie.....	13
7)Annexes.....	14

Liste des figures

Figure 1 - Graphique circulaire de la répartition des différents poids des matériaux utilisés dans le pneu en pourcentage.

Figure 2 - Représentation graphique du coût en empreinte carbone à chaque étape du cycle.

Liste des tableaux

Tableau 1 - Répartition des différents poids des matériaux utilisés dans le pneu.

Tableau 2 - Présentation des dépenses énergétiques et l'empreinte carbone pour chaque matériaux à chaque étape de l'ACV.

Tableau 3 - représentant la consommation énergétique et l'empreinte carbone associées à chaque étape de l'ACV, en fonction du chaque matériau.

Résumé

Afin d'assurer notre engagement envers l'écosystème chez SPI Engineer, nous effectuons une analyse de cycle de vie (ACV) sur un pneu Continental que nous aimerions vendre. Compte tenu de l'influence négative notable de la fabrication et de l'utilisation des pneus sur notre Terre, dénoncer leur durabilité devient inévitable.

Étant donné l'importance des pneus pour permettre la mobilité, leurs impacts négatifs sur l'environnement en termes d'épuisement et d'élimination des ressources ne doivent pas être négligés. Par conséquent, notre ACV vise à analyser de manière exhaustive toutes les phases impliquées dans le cycle de vie d'un pneu, depuis la production jusqu'à la fin de son utilisation.

Concernant les pneus, en tant qu'entreprise commerciale, nous envisageons d'étudier les processus qui englobent la production, l'utilisation et la gestion post-utilisation, en tenant compte de tous les avantages dérivés du recyclage afin que le niveau d'empreinte carbone et de consommation d'énergie ne dépasse pas les normes acceptables.

Au cœur de notre analyse, nous examinerons l'impact environnemental des matériaux à partir desquels les pneus sont fabriqués (par exemple le caoutchouc), leur composition chimique et les émissions de CO₂ produites lors du transport.

L'importance du recyclage des pneus sera soulignée comme un moyen clé de réduire l'impact environnemental, soulignant notre engagement à promouvoir des pratiques durables dans la commercialisation des pneus de Continental.

Abstract

To ensure our commitment to the ecosystem at SPI Engineer, we perform a Life Cycle Analysis (LCA) on a Continental tire that we would like to sell. Given the significant negative impact of the manufacture and use of tires on our planet, addressing their sustainability becomes inevitable.

Given the importance of tires for mobility, their negative environmental impacts in terms of resource depletion and disposal should not be overlooked. Therefore, our LCA aims to comprehensively analyze all the stages involved in the life cycle of a tire, from production to the end of its use.

Regarding tires, as a trading company, we intend to study the processes that encompass production, use, and post-use management, taking into account all the benefits derived from recycling so that the level of carbon footprint and energy consumption does not exceed acceptable standards.

At the heart of our analysis will be the environmental impact of the materials from which tires are made (e.g., rubber), their chemical composition, and CO₂ emissions from transportation.

The importance of tire recycling will be highlighted as a key means of reducing environmental impact, underscoring our commitment to promoting sustainable practices in the marketing of Continental tires.

1/ Introduction

1.1/ Contexte et choix du sujet :

Aujourd'hui l'industrie de l'automobile ne cesse de croître, la demande est de plus en plus forte. Les voitures deviennent plus rapides et plus silencieuses. La voiture devient un incontournable des familles pour de petits ou de grands trajets. Les pneus jouent un rôle déterminant sur la tenue de route et les performances. Il existe une multitude de pneus pour tous types de véhicules.

Cependant, l'industrie du pneu reste très polluante, et a un impact négatif sur le climat et pour cause, l'utilisation de produits nocifs pour la planète ainsi que la consommation d'énergies polluantes. C'est pourquoi nous avons choisi de porter l'étude de l'analyse du cycle de vie sur un pneu de tourisme de type citadine. L'étude du cycle de vie du pneu permet d'évaluer son impact sur la planète et ainsi développer des stratégies pour limiter son impact écologique. Cette étude se concentre sur un pneu de type citadine continental.

1.2/ Scénario :

Pour l'étude de notre ACV, nous nous placerons comme une entreprise de vente de pneus éco responsables en particulier un pneu de la marque continental. Nos pneus sont des pneus de monsieur et madame tout le monde. Ils ne sont pas voués à une utilisation spécifique tels que les pneus utilisés en Formule 1 ou encore dans le domaine Aéronautique. Ces domaines provoquant une usure rapide des pneus ne s'inscrivent pas dans notre politique d'entreprise. La fin de vie souhaitée pour nos produits est une fin de vie menant à un recyclage ou alors par une élimination du pneu dans certaines mesures.

Il est utile de noter qu'en 2022 il y avait 38,7 millions de voitures de tourisme en circulation en France. 14 millions de pneus de touristes ont été vendus à des particuliers en France en 2022. Ce qui représente 82% des pneus vendus en France. C'est l'équivalent de 1,2 millions de pneus vendus par mois soit 1,2 millions de pneus à fabriquer par mois. Malgré une forte croissance du nombre de voitures vendues, le nombre de pneus total est en baisse.

2/ Matériels et Méthodes

2.1/ Méthodes :

Pour réaliser notre ACV nous allons procéder en décomposant et détaillant chaque éléments constitutif du pneu. de cette manière nous allons isoler chaque matière première (caoutchouc naturel caoutchouc synthétique ,noir de carbone ...) dans l'optique d'analyser leurs impacts environnementaux ainsi que leurs depenses en énergie pour chaque etapes de l'ACV qui sont l'elaboration,la fabrication , le transport et le recyclage/fin de vie.

La production de nos pneu nécessitant plusieurs étapes nous allons les structurer de la manière suivante:

- 1) **Élaboration/Extraction des matières premières:** Cela inclut l'extraction des matières premières utilisées dans la fabrication du caoutchouc (naturel et synthétique), des métaux pour les ceintures et les cordons, des additifs chimiques, etc. Les impacts environnementaux associés à cette étape.
- 2) **Fabrication du pneu** : Fabrication : Il s'agit du processus de fabrication du pneu, qui comprend le mélange et le traitement du caoutchouc, la découpe des différents composants, l'assemblage, la vulcanisation, etc. Les impacts environnementaux associés à cette étape comprennent la consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre, la production de déchets, etc.
- 3) **Transport** : cette étape prend en compte le transport des matières premières (caoutchouc naturel et synthétique) situé en Thaïlande vers le site de production continental situé en France à Sarreguemines ainsi que le transport du pneu fabriqué vers notre lieu de vente à Paris.
- 4) **Utilisation** : Il s'agit de l'utilisation du pneu sur un véhicule, y compris la consommation de carburant, les émissions de polluants atmosphériques (comme les oxydes d'azote et les particules) et les émissions de gaz à effet de serre associées à la résistance au roulement.
- 5) **fin de vie et recyclage:** Cela inclut la gestion des déchets du pneu en fin de vie, y compris le recyclage, la valorisation énergétique et l'élimination des déchets. Les impacts environnementaux associés à cette étape dépendent largement des pratiques de gestion des déchets dans la région considérée. Maintenant portons une attention particulière à l'étape d'utilisation: en effet l'analyse de cycle de vie des pneus montrent que c'est à l'usage que l'impact des pneus sur l'environnement est le plus important soit 92,6 % en moyenne pour un pneu de voiture.

2.2 / Matériels :

Pour mener une Analyse du Cycle de Vie (ACV) rigoureuse et exhaustive, il est crucial de s'appuyer sur des sources bibliographiques fiables et pertinentes. Ces sources offrent non seulement des données essentielles mais aussi un cadre théorique et méthodologique qui permettent d'enrichir la qualité et la précision de l'ACV.

Tout d'abord la source qui nous a le plus aidé pour recueillir des données sur l'empreinte carbone ainsi que la consommation d'énergie pour chaque étape de notre ACV provient de l'ouvrage de référence Matériaux et environnement de Michael F. Ashby.

google maps : nous a grandement aidé pour les trajets et distances :

<https://www.google.fr/maps/@48.8636416,2.4444928,14z?entry=ttu>

quelques sites pour les émissions de CO₂:

<https://theicct.org/publication/co2-emissions-from-trucks-in-the-eu-an-analysis-of-the-heavy-duty-co2-standards-baseline-data/>

<https://www.chesterenergyandpolicy.com/blog/carbon-g3c-offset-emissions-tires>

Source : <https://www.michelin.fr/auto/conseils/regles-pneus/fabrication-recyclage-pneus>

mais également de certains sites, comme Continental, d'où nous avons obtenu des informations sur notre pneu

<https://www.uniroyal-tyres.com/be/fr/car/service-knowledge/tyre-material/#:~:text=Le%20caoutchouc%20naturel%20et%20le,apr%C3%A8s%20traitement%20l%C3%A9lasticit%C3%A9%20souhait%C3%A9e.>

<https://www.nokiantyres.fr/innovation/donnees-sur-les-pneus/processus-de-fabrication/#:~:text=Les%20mat%C3%A8res%20premi%C3%A8res%20principales%20du,de%20diff%C3%A9rents%20mat%C3%A9riaux%20de%20renforcement.>

[Pneu CONTINENTAL 205/55R16 91V ContiPremiumContact 2 BMW Mini - Feu Vert](#)

https://www.amazon.fr/BERLIN-Tires-SUMMER-UHP-205/dp/B07QR4VVJD/ref=sr_1_3_sspa?dib=eyJ2IjoiMSJ9.B3RYBWiOqW4ZS7EuaJhxVoh3qzmSmm3N6cVwM0eP2_WnZgUMC1G0bbRUmx34kSX4B8IDiyv

Dans ce travail, nous aborderons les éventuelles données manquantes, la stratégie adoptée pour les estimer, ainsi que les arguments utilisés pour justifier leur négligence.

Durant notre analyse de cycle de vie, il est important de noter que certaines données peuvent manquer ou être négligées. Nous avons été contraints de simplifier certains matériaux utilisés pour obtenir une analyse de cycle de vie avec le plus de données chiffrées possibles. Par exemple, pour les matériaux de remplissage, la silice peut être utilisée en complément du noir de carbone, mais en raison d'un manque de données sur la silice, nous avons été contraints de ne prendre en compte que le noir de carbone. Nous avons également rencontré des difficultés pour obtenir des données chiffrées sur certaines étapes du cycle de vie, telles que le transport.

En somme, nous nous efforcerons de mener à bien notre projet en effectuant parfois des remplacements ou des adaptations logiques et réalistes, permettant d'obtenir des résultats se rapprochant le plus possible de la réalité. Il est également crucial de ne pas omettre ces ajustements afin que nous soyons conscients des limites de ce projet.

3/ Résultats

Inventaire des parties partie d'un pneu :

- Bande de roulement – caoutchouc naturel et synthétique
- Nappes ceintures – nylon, incrusté dans du caoutchouc
- Cordes pour les bandages d'acier – cordes en acier à haute résistance
- Nappe textile – rayonne caoutchoutée ou polyester
- Calandrage – caoutchouc (naturel et synthétique)
- Flanc – caoutchouc naturel
- Bandelette – nylon
- Apex – caoutchouc synthétique
- Tringle – fils métalliques incrustés dans du caoutchouc
- remplissage (noir de carbone et scilice)

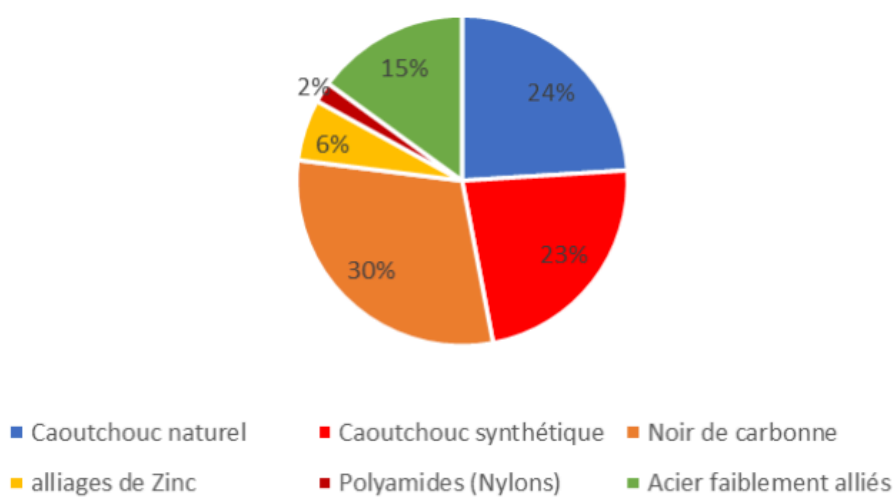
Inventaire des matériaux du pneu continental :

- **Caoutchouc naturel : 24 %** pèse 2,256 kg Arbre à caoutchouc provenant de Thaïlande .
- **Caoutchouc synthétique : 23%** pèse soit 2,162 kg (provenant de Thaïlande)
- **Produit de remplissage : Noir de carbone :** environ 30% soit 2,82 kg noire de carbone: chine
- **Câbles de renforcement métalliques :** environ 15% soit 1,41 kg acier polyester nylon rayonne chine
- **Produit chimique vulcanisation** (oxyde de zinc...) 6% pèse 0,564 kg (provenant de chine)
- **Textiles :** (nylon) environ 2 % pèse 0,188 kg (provenant de chine)

Tableau de la répartition des différents poids des matériaux utilisés dans le pneu

matériaux	poids (kg)	pourcentage dans le pneu
Caoutchouc naturel	2,256	24%
Caoutchouc synthétique	2,162	23%
Noir de carbone	2,82	30%
alliages de Zinc	0,564	6%
Polyamides (Nylons)	0,188	2%
Acier faiblement alliés	1,41	15%

Graphique circulaire de la répartition des différents poids des matériaux utilisés dans le pneu en pourcentage:



Dans cette section, nous présenterons un résumé des données utilisées pour notre Analyse du Cycle de Vie (ACV). Cela inclura, sauf cas particulier, un tableau récapitulatif des matériaux, des masses et des facteurs d'impact pour les étapes d'élaboration, de fabrication et de recyclage. Ensuite, nous fournirons une présentation détaillée des données pertinentes pour l'étape d'utilisation.

Ci dessous un tableau présentant les matériaux de notre pneu avec leur empreinte carbone respectif et leur dépense énergétique pour chaque étape de l'ACV :

Matériaux	Energie élaboration (MJ/kg)	Empreinte CO2 élaboration (kg/kg)	Energie fabrication (MJ/kg)	Empreinte CO2 fabrication (kg/kg)	Energie recyclage (MJ/kg)	Empreinte CO2 recyclage (kg/kg)
Caoutchouc naturel	66	1,5	7,70	0,615	N.D	N.D
Caoutchouc synthétique	100,2	3,7	8,12	0,66	N.D	N.D
Noir de carbone	83	2,4	3,3	2,2	N.D	N.D
alliages de Zinc	71	3,7	1,15	0,070	12,6	0,66
Polyamides (Nylons)	128	5,5	9,5	0,77	54,7	2,33
Acier faiblement alliés	35	1,99	4,2	0,23	9,5	0,60

N.D= Non disponible

Il est important de noter que la majorité des données utilisées pour remplir le tableau proviennent du livre d'Ashby, [\[annexes\]](#) . Cependant, certains éléments proviennent également de données publiques[1]. aussi certains résultats liés au recyclage sont non disponibles soit parce que nous n'avons pas pu obtenir les données nécessaire ou alors parce que le matériau n'est pas recyclable .

À l'aide de ce tableau nous allons pouvoir obtenir des données concernant les dépenses énergétiques ainsi que l'empreinte CO2 associé au poids de chaque matériau et ce à chaque étape de l'analyse du cycle de vie que ce soit de l'élaboration la fabrication ainsi que le recyclage pour se faire il convient de multiplier le poids réel de chaque matériau par les valeurs Déterminée précédemment à chaque étape de l'analyse du cycle de vie.

Pour illustrer notre propos nous allons calculer les dépenses énergétiques ainsi que l'empreinte carbone du caoutchouc naturel pour son élaboration ainsi que sa fabrication à titre d'exemple :

Données :

poids caoutchouc naturel = 2,256 kg

Énergie à l'élaboration du caoutchouc naturel =66 MJ/kg

Énergie à la fabrication du caoutchouc naturel = 7,70 MJ/kg

Empreinte CO2 à l'élaboration du caoutchouc naturel = 1,52 kg/kg de CO2

Empreinte CO2 à fabrication du caoutchouc naturel = 0,615 kg/kg de CO2

Calcul:

Énergie final à l'élaboration du caoutchouc naturel = $2,256 \times 66 = 148,896$ MJ

Énergie final à la fabrication du caoutchouc naturel = $2,256 \times 7,70 = 17,371$ MJ

Empreinte CO2 final à l'élaboration du caoutchouc naturel = $2,256 \times 1,5 = 3,384$ kg de CO2

Empreinte CO2 final à la fabrication du caoutchouc naturel = $2,256 \times 0,615 = 1,387$ kg de CO2

Pour ce qui est du recyclage du caoutchouc naturel la méthode de calcul est exactement la même cependant dans ce cas présent nous n'avons pas pu déterminer les éléments de réponse à son empreinte carbone ainsi qu'à sa dépense énergétique raison pour laquelle le détail du calcul n'est pas présent.

Concernant le transport :

Continental ayant plusieurs usines dans le monde nous prendrons comme lieu de fabrication Sarreguemines en France. Le pneu est transporté au centre logistique de Mer en France par camion pour une distance de 580 Km . (googlemaps) Par la suite, il est transporté dans la boutique à Paris pour une distance de 165 Km (google maps) soit une distance totale de 745 km.

A noter que le facteur d'émission de CO2 pour un camion de longue distance est de 0,057g CO2/kg-Km [7] tandis que le facteur d'émission de CO2 pour un transport maritime est de 0,012g CO2/kg-Km [11]

Calcul de l'empreinte CO2 pour le transport d'un pneu fabriqué jusqu'à son point de vente à Paris:

Facteur d'émission CO2 par camion = 0,057 g CO2/kg-km

Distance parcourue = 745 km

Poids transporté = 9,4 kg

Émissions de CO2 (par kg) = $0,057 \text{ g CO}_2/\text{kg-km} \times 745 \text{ km} = 42,465$ g CO2

Pour avoir le poids transporté on multiplie cette valeur par le poids d'un pneu :

Émissions totales de CO2 = $42,465 \text{ g CO}_2 \times 9,4 \text{ kg} = 399,171$ g CO2 = 0,399171 kg CO2

Mais ce n'est pas tout pour que l'on puisse le plus possible se rapprocher de la réalité il faut aussi prendre en compte le transport des matières premières telle que le caoutchouc naturel et synthétique le noir de carbone le zinc le nylon ainsi que l'acier vers le site de production situé à sarregoumine en France pour cela nous allons mettre en place un contexte ainsi que des hypothèses plausible pour mener à bien notre analyse:

- Trajet du zinc/nylons/acier : Le zinc le nylons et l'acier tous provenant de Chine sont transporté depuis le port de Shanghai en Chine jusqu'au port du Havre en France par voie maritime pour une distance de 21744 km ensuite le zinc et le nylon et l'acier parcourent le port

du Havre jusqu'à sarreguemines qui est le site de production pour une distance de 500 km soit pour un trajet total de 22244 km

- Trajet du caoutchouc naturel et synthétique : Le caoutchouc naturel ainsi que le caoutchouc synthétique qui tous deux proviennent de Thaïlande sont transportés depuis le port de laem Chabang jusqu'au port de Rotterdam dans des portes conteneurs par voie maritime pour une distance de 17000 km ensuite le caoutchouc naturel et synthétique voyage du port de Rotterdam jusqu' au site de production à Sarreguemines Par voie routière pour une distance de 400 km soit un trajet total de 17400 km.

- Trajet du noir de carbone : Le noir de carbone est produit a l' usines de Suzhou Baohua Suzhou au capot corporation à Shanghai puis est ensuite transporté de l'usine de production j'usqu'a Shanghai pour une distance de 103,996 km puis va suivre le meme trajet que le Zinc , l'acier et le nylons pour une distance totale de 22 347 km.

De la même manière que nous avons calculé l'empreinte carbone du trajet d'un pneu de Sarreguemines jusqu'au point de vente déterminons les empreintes carbone Liée aux matières premières jusqu'à leur site de production Sarreguemines en France:

Ainsi on détermine que le trajet du zinc, du nylon et d'acier qui prend en compte un poids total de 2,162 kg génère 0,626 kg de CO₂.

Le trajet du caoutchouc naturel et synthétique pour un poids total de 4,418 kg génère 1,00217 kg de CO₂.

Le trajet du noir de carbone pour un poids de 2,82 kg quant à lui génère 0,832 kg de CO₂. Pour obtenir l' empreinte CO₂ total reliés au transport d'un pneu de son élaboration jusqu'à sa mise en vente il faut additionner tous les trajets liés aux matières premières ainsi que le trajet du pneu du site de production jusqu'au point de vente ce qui nous donne une empreinte carbone total de 2,859 kg de CO₂ .

À propos de l'énergie dépensée durant le transport nous avons été confrontés à des difficultés pour déterminer les informations nécessaires sur le facteur moyen de dépenses énergétique raison pour laquelle nous n'avons pas pu trouver la valeur associée à cette dépense.

Concernant le recyclage :

Une fois le pneu arrivé en fin de vie, nos clients ont la possibilité de fournir leurs pneus usagés à des entreprises spécialisées pour qu'ils soient collectés et recyclés. Ils ont aussi la possibilité de nous fournir les pneus afin que nous puissions, à notre tour, les amener chez les entreprises spécialisées. Une fois les matériaux recyclés, ils seront transformés en nouveaux produits. Par ailleurs, les pneus peuvent être tout simplement éliminés par ces mêmes entreprises.

Une fois le pneu arrivé en fin de vie nos clients ont la possibilité de fournir leurs pneus usagés à des entreprises spécialisées Pour que ‘

Concernant l'utilisation :

Lors de l'utilisation d'une voiture, un pneu produit 8,36 g de co2 par Km parcouru , cela est dû à cause de la résistance au roulement .

Sachant qu'un pneu parcourt en moyenne 50 000 km, un pneu dégage 418 kg eq. co2 en moyenne.(De plus, en roulement, les pneus émettent des particules fines qui pourraient être nocives pour la santé.) [10] [9]

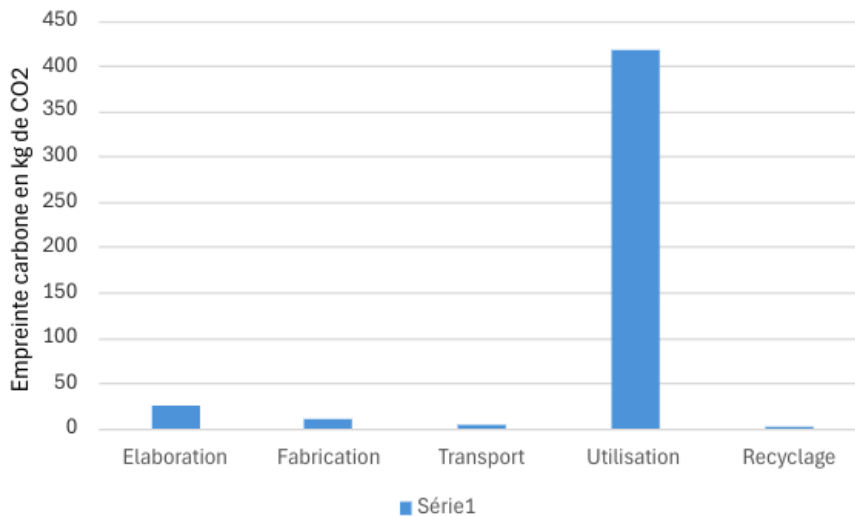
À l'aide de toutes ces informations déterminées précédemment, nous obtenons le tableau présentant les consommations énergétiques ainsi que les empreintes carbone associées à chaque étape de l'ACV, en fonction de chaque matériau composant le pneu et de leurs masses en kg:

Matériaux	poids (kg)	Energie final élaboration (MJ)	Empreinte C02 final élaboration (kg)	Energie final fabrication (MJ)	Empreinte C02 final fabrication (kg)	Energie final recyclage (MJ)	Empreinte C02 recyclage (kg)
Caoutchouc naturel	2,256	148,896	3,384	17,371	1,387	N/D	N.D
Caoutchouc synthétique	2,162	216,632	7,999	17,555	1,426	N/D	N.D
Noir de carbone	2,82	234,06	6,768	9,306	6,204	N/D	N.D
alliages de Zinc	0,564	40,044	2,087	0,649	0,0395	7,106	0,372
Polyamides (Nylons)	0,188	24,064	1,034	1,786	0,145	10,284	0,438
Acier faiblement alliés	1,41	49,35	2,806	5,922	0,324	13,395	0,846
Total	9,4	713,046	24,078	52,589	9,526	30,785	1,656

N.D = Non Disponible

En s'appuyant sur les données de la section précédente, évaluer l'impact (a minima : énergie et CO2) pour chaque étape du CV. Représenter les résultats sous forme d'histogrammes. Identifier la ou les étapes critiques.

Voici la représentation du coût en empreinte CO2 pour chaque étape du Cycle de vie d'un pneu continental:



Au regard de cet histogramme, on peut constater que l'étape la plus polluante, et de très loin, est l'utilisation. En effet, l'utilisation représente en moyenne 92,6 % de l'empreinte carbone générée par un pneu. Cela est causé par le fait que les pneus émettent des particules nocives pour la santé à cause de la résistance au roulement.

La seconde étape la plus polluante est liée à l'élaboration, qui prend en compte l'extrusion et le traitement des matières premières.

Concernant la phase de fabrication et de transport, celles-ci génèrent des émissions de CO2 à peu près similaires. Enfin, l'étape la moins polluante est le recyclage.

4/ Discussion

1) Synthèse de l'ACV

Pendant cette étude, nous avons conclu que l'étape la plus critique d'un point de vue environnemental est l'utilisation du pneu qui correspond à plus de 90% de co2 émis par le pneu.

Lors de l'utilisation d'une voiture, un pneu produit 8,36 g de co2 par Km parcouru , cela est dû à cause de la résistance au roulement .

Sachant qu'un pneu parcourt en moyenne 50 000 km, un pneu dégage 418 kg eq. co2 en moyenne.(De plus, en roulement, les pneus émettent des particules fines qui pourraient être nocives pour la santé.)

La recherche et le développement du pneu devraient être plus axés sur son utilisation afin de réduire les émissions de co2.

2) Limites

Dans certains cas, nos recherches se sont avérées être infructueuses. Nous avons dû émettre des hypothèses qui nous semblaient cohérentes.

Pour calculer les trajets effectués par les transporteurs afin d'obtenir le co2 rejeté pendant le transport, nous avons dû nous appuyer à défaut sur certains outils de calcul mais il est tout à fait impossible de certifier la véracité des résultats . Ils se pourraient que les transporteurs soient contraints de faire des déviations par rapport aux itinéraires calculés ou simplement d'utiliser d'autres itinéraires. De plus , nous avons pu émettre des hypothèses concernant l'énergie dépensée pour chaque trajet effectué ².

Nous avons quand même choisi de garder ces résultats car ces itinéraires restent les plus simples, rapides et réalistes .

3) Perspectives

Les améliorations à fournir sont dans le choix du pneu par l'utilisateur. L'utilisateur doit choisir des pneus avec une faible résistance au roulement , plus la résistance est élevée plus le véhicules consomme, plus il rejette du co2.

Il reste néanmoins évident que c'est à l'entreprise de développer des pneus plus propres en utilisant des matériaux moins polluants et en réduisant au maximum la résistance au roulement, en utilisant un caoutchouc plus souple. Une solution serait de fabriquer des pneus avec plus de silice qui réduit la résistance au roulement ou encore remplacer les matériaux polluants par des matériaux naturels comme l'amidon de maïs ou l'huile d'écorce d'orange.

De plus, rendre le circuit d'acheminement plus court reste fondamental, utiliser des fournisseurs plus proches de l'usine. Il faudrait aussi choisir des transporteurs soucieux de leur impact écologique et engagés pour la lutte contre le réchauffement climatique . De plus, il reste évident qu'il faudrait ajouter l'utilisation de l'eau pour les plantations d'arbres à caoutchouc .

5/ Conclusion

- Qu'avez-vous appris ? Quel est votre ressenti personnel ?

Durant nos recherches nous avons découvert l'impact écologique qu'a un objet comme une roue qui est utilisé quotidiennement. Lorsque nous avons étudié les différentes étapes du cycle de vie d'une roue, nous avons appris que son impact sur l'environnement est relié à plusieurs éléments comme la fabrication, le transport ou son utilisation. En travaillant sur ce projet, nous avons pris conscience de l'impact écologique des différents matériaux qui constituent une roue et de l'importance d'utiliser des matériaux plus écologiques pour sa fabrication.

- Quelles difficultés avez-vous rencontrées ?

Nous avons apprécié découvrir comment fabriquer des pneus et les nombreux matériaux qui les constituent. Nous avons également apprécié l'étude des différentes étapes du cycle de vie, le modèle de compte-rendu à disposition nous a permis d'organiser nos recherches. Cependant, certaines données concernant l'impact des matériaux étaient compliquées à trouver et certaines données étaient erronées ou différentes selon les sources, nous devions donc sélectionner les données que nous pouvions garder. Les recherches de données demandaient beaucoup de temps et de recherches.

6/ Bibliographie

- 1/ <https://www.chesterenergyandpolicy.com/blog/carbon-g3c-offset-emissions-tires>
- 2/ <https://www.co2everything.com/co2e-of/polyester>
- 3/ <https://www.continental.com/en/press/press-releases/20220928-responsible-sourcing-of-natural-rubber/>
- 4/ <https://www.tf1info.fr/societe/video-sur-la-route-des-vacances-le-parcours-d-un-pneu-2228497.html>
- 5/ <https://www.continental-tires.com/fr/fr/b2c/tire-knowledge/tire-mixture/>
- 6/ <https://www.continental.com/en/company/for-suppliers/welcome-to-corporate-purchasing/>
- 7/ <https://theicct.org/publication/co2-emissions-from-trucks-in-the-eu-an-analysis-of-the-heavy-duty-co2-standards-baseline-data/>
- 8/ <https://www.google.fr/maps/@48.8636416,2.4444928,14z?entry=ttu>
- 9/ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666789421000258>
- 10/ <https://toutsurlepneu.michelin.com/environnement>
- 11/ <https://www.sciencepresse.qc.ca/actualite/detecteur-rumeurs/2019/07/22/transportmaritime-moins-polluant-4-choses>
- 12/ <https://www.nokiantyres.fr/innovation/donnees-sur-les-pneus/processus-de-fabrication/#:~:text=Les%20mati%C3%A8res%20premi%C3%A8res%20principales%20du,de%20diff%C3%A9rents%20mat%C3%A9riaux%20de%20renforcement.>

7/ Annexes

Annexe 1 :

12 • Les profils des matériaux

12.3 Polymères

12.3.14 Caoutchouc naturel (NR)

■ Le matériau

Le caoutchouc naturel était connu des indigènes péruviens il y a déjà plusieurs siècles et constitue aujourd'hui une des principales exportations de la Malaisie. Il a fait la fortune de Giles Macintosh qui a, en 1825, inventé le manteau en tissu revêtu de caoutchouc qui porte encore son nom en Grande-Bretagne. Le latex, sève de l'hévéa ou arbre à caoutchouc, peut être réticulé (vulcanisé) en le chauffant avec du soufre ; le nombre de réticulations détermine les caractéristiques obtenues. Il est le plus utilisé de tous les élastomères – plus de 50 % du total produit.

□ Composition

$$(\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}-\text{CH}_2)_n$$

■ Propriétés générales

Masse volumique	920	- 930	kg/m ³
Prix	2,39	- 2,63	US\$/kg

■ Propriétés mécaniques

Module de Young	0,0015	- 0,0025	GPa
Limite d'élasticité	20	- 30	MPa
Résistance à la traction	22	- 32	MPa
Résistance à la compression	22	- 33	MPa
Allongement à la rupture	500	- 800	%
Limite d'endurance à 10 ⁷ cycles	4,2	- 4,5	MPa
Ténacité	0,15	- 0,25	MPa.m ^{1/2}

■ Propriétés thermiques

Température de transition vitreuse	-78,2	- -63,2	°C
Température maximum en service	68,9	- 107	°C
Conducteur ou isolant thermique ?	Bon isolant		
Conductibilité thermique	0,1	- 0,14	W/m.K
Capacité thermique massique	1 800	- 2 500	J/kg.K
Coefficient de dilatation thermique	150	- 450	10 ⁻⁶ /K

■ Propriétés électriques

Conducteur ou isolant électrique ?	Bon isolant		
Résistivité électrique	1 × 10 ¹⁵	- 1 × 10 ¹⁶	μΩ.cm
Constante diélectrique	3	- 4,5	
Facteur de dissipation	7 × 10 ⁻⁴	- 0,003	
Tension de claquage	16 × 10 ⁶	- 23 × 10 ⁶	V/m

296

12 • Les profils des matériaux

12.3 Polymères

Le caoutchouc naturel est utilisé dans le matériel médical, les accessoires de mode, les tubes et les pneus.

■ Éco-propriétés : matériau

Production mondiale annuelle	$7,7 \times 10^6$	-	$7,8 \times 10^6$	tonnes/an
Contenu en énergie, élaboration primaire	62	-	70	MJ/kg
Empreinte CO ₂ , élaboration primaire	1,5	-	1,6	kg/kg
Besoin en eau	*1 500	-	2 000	L/kg
Éco-indicateur	340	-	380	millipoints/kg

■ Éco-propriétés : mise en œuvre

Énergie pour le moulage du polymère	*7,13	-	8,08	MJ/kg
Empreinte CO ₂ au moulage du polymère	*0,57	-	0,646	kg/kg

■ Recyclage

Fraction recyclée dans l'approvisionnement courant	0,1	%
--	-----	---

■ Usages typiques

Gants, pneus de voitures, joints, courroies, tampons et blocs anti-vibrations, isolation électrique, tuyaux flexibles, tubes à revêtement caoutchouc, pompes.

297

Annexe 2 :

12 • Les profils des matériaux

12.3 Polymères

12.3.2 Polyamides (Nylons, PA)

■ Le matériau

En 1945, au moment où la guerre se terminait juste en Europe, les deux objets de luxe les plus prisés étaient les cigarettes et les bas en Nylon. Le Nylon (PA) peut être filé en fibres aussi fines que la soie et était largement utilisé comme substitut de celle-ci. De nos jours, de nouvelles fibres ont érodé sa prédominance dans le domaine vestimentaire, mais les cordages en Nylon et les fils de Nylon en renforcement pour le caoutchouc (pour les pneus d'automobile) et pour d'autres polymères (PTFE, pour certains éléments de toitures) jouent encore un rôle important. Dans la conception de produits industriels, le Nylon est utilisé pour fabriquer des boîtiers solides, des cadres et des manches et, renforcé par des fibres de verre, pour des engrenages et d'autres pièces de structure. Il existe sous de nombreuses nuances (Nylon 6, Nylon 66, Nylon 11, etc.) chacune avec des propriétés légèrement différentes.

□ Composition

$$(\text{NH}(\text{CH}_2)_n\text{CO})_n$$

■ Propriétés générales

Masse volumique	1 120	- 1 140	kg/m ³
Prix	*3,55	- 3,91	US\$/kg

■ Propriétés mécaniques

Module de Young	2,62	- 3,2	GPa
Limite d'élasticité	50	- 94,8	MPa
Résistance à la traction	90	- 165	MPa
Allongement à la rupture	30	- 100	%
Dureté Vickers	25,8	- 28,4	HV
Limite d'endurance à 10 ⁷ cycles	*36	- 66	MPa
Ténacité	*2,2	- 5,6	MPa.m ^{1/2}

■ Propriétés thermiques

Température de fusion	210	- 220	°C
Température maximum en service	110	- 140	°C
Conducteur ou isolant thermique ?	Bon isolant		
Conductibilité thermique	0,23	- 0,25	W/m.K
Capacité thermique massique	1 600	- 1 660	J/kg.K
Coefficient de dilatation thermique	144	- 149	10 ⁻⁶ /K

■ Propriétés électriques

Conducteur ou isolant électrique ?	Bon isolant		
Résistivité électrique	*1,5 × 10 ¹⁵	- 1,4 × 10 ²⁰	μΩ.cm
Constante diélectrique	3,7	- 3,9	
Facteur de dissipation	0,014	- 0,03	
Tension de claquage	15,1 × 10 ⁶	- 16,4 × 10 ⁶	V/m

272

12 • Les profils des matériaux

12.3 Polymères

Les polyamides sont résistants aux efforts, à l'usure et à la corrosion et peuvent être colorés.

■ Éco-proprétés : matériau

Production mondiale annuelle	$3,7 \times 10^6$	- $3,8 \times 10^6$	tonnes/an
Réserves	$*9,2 \times 10^8$	- $9,3 \times 10^8$	tonnes
Contenu en énergie, élaboration primaire	121	- 135	MJ/kg
Empreinte CO ₂ , élaboration primaire	5,5	- 5,6	kg/kg
Besoin en eau	*136	- 408	L/kg
Eco-indicateur	600	- 660	millipoints/kg

■ Éco-proprétés : mise en œuvre

Énergie pour le moulage du polymère	*9,2	- 10	MJ/kg
Empreinte CO ₂ au moulage du polymère	*0,74	- 0,81	kg/kg
Énergie pour l'extrusion du polymère	*3,6	- 3,9	MJ/kg
Empreinte CO ₂ pour l'extrusion du polymère	*0,29	- 0,32	kg/kg

■ Recyclage

Contenu en énergie, recyclage	50,8	- 56,7	MJ/kg
Empreinte CO ₂ , recyclage	2,31	- 2,35	kg/kg
Fraction recyclée dans l'approvisionnement courant	*0,5	- 1	%

Marque d'identification en vue du recyclage :

Other ou O (autres)

■ Usages typiques

Engrenages légers, manchons, pignons et paliers ; boîtiers d'équipements électriques, lentilles, coffrets, réservoirs, tubes, éléments de mobilier, connexions de plomberie, garde-boue de bicyclettes, boueilles de ketchup, chaînes, poils de brosses à dents, manchettes, emballages alimentaires. Les Nylons sont utilisés comme additifs fondus à chaud pour les reliures de livres ; sous forme de fibres – cordages, lignes de pêche, moquettes, garnitures automobiles et bas ; sous forme de fibres aramides – câbles, cordages, vêtements de protection, sacs de filtration et isolation électrique.

273

Annexe 3 :

12 • Les profils des matériaux

12.2 Métaux et alliages

12.2.10 Aciers faiblement alliés

■ Le matériau

L'ajout de manganèse (Mn) de nickel (Ni) de molybdène (Mo) ou de chrome (Cr) à l'acier ralentit la vitesse critique de trempe et permet d'obtenir plus facilement de la martensite, ce qui autorise des pièces de forte section à être trempées et adoucies par revenu. En ajoutant aussi un peu de vanadium (V), on crée une dispersion de carbures qui confèrent une bonne résistance mécanique tout en conservant ténacité et ductilité. Les aciers au chrome-molybdène (comme la nuance AIS 4140 ou EN 40 Cr Mo 4) sont utilisés dans certains éléments de structure en aviation ou d'autres pièces à haute résistance. Les aciers au chrome-vanadium sont utilisés pour les essieux, les arbres d'hélice et les outils de haute qualité. Les aciers ainsi alliés dans ce but sont qualifiés d'*aciers faiblement alliés* et leur caractéristique principale est l'*aptitude au durcissement*.

□ Composition

Fe + (< 1,0%C) + (< 2,5% Cr) + (< 2,5% Ni) + (< 2,5% Mo) + (< 2,5% V).

■ Propriétés générales

Masse volumique	7 800	-	7 900	kg/m ³
Prix	*1,0	-	1,1	US\$/kg

■ Propriétés mécaniques

Module de Young	205	-	217	GPa
Limite d'élasticité	400	-	1 500	MPa
Résistance à la traction	550	-	1 760	MPa
Allongement à la rupture	3	-	38	%
Dureté Vickers	140	-	692	HV
Limite d'endurance à 10 ⁷ cycles	*248	-	700	MPa
Ténacité	14	-	200	MPa.m ^{1/2}

■ Propriétés thermiques

Température de fusion	1 380	-	1 530	°C
Température maximum en service	*500	-	550	°C
Conducteur ou isolant thermique ?	Bon conducteur			
Conductibilité thermique	34	-	55	W/m.K
Capacité thermique massique	410	-	530	J/kg.K
Coefficient de dilatation thermique	10,5	-	13,5	10 ⁻⁶ /K

■ Propriétés électriques

Conducteur ou isolant électrique ?	Bon conducteur			
Résistivité électrique	*15	-	35	μΩ.cm

262

262

12 • Les profils des matériaux

12.2 Métaux et alliages

Les aciers faiblement alliés au chrome-molybdène ou au chrome-vanadium sont utilisés pour les outils de haute qualité, les cadres de bicyclettes et certaines pièces des moteurs et des transmissions d'automobiles.

■ Éco-proprétés : matériau

Production mondiale annuelle	$1,1 \times 10^9$	-	$1,2 \times 10^9$	tonnes/an
Réserves	78×10^9	-	79×10^9	tonnes
Contenu en énergie, élaboration primaire	*32	-	38	MJ/kg
Empreinte CO ₂ , élaboration primaire	*1,95	-	2,3	kg/kg
Besoin en eau	*37	-	111	L/kg
Éco-indicateur millipoints/kg	100	-	120	

■ Éco-proprétés : mise en œuvre

Énergie pour le moulage	*3,8	-	4,6	MJ/kg
Empreinte CO ₂ au moulage	*0,23	-	0,28	kg/kg
Énergie pour le corroyage	*3,2	-	3,9	MJ/kg
Empreinte CO ₂ au corroyage	*0,26	-	0,31	kg/kg

■ Recyclage

Contenu en énergie, recyclage	*9,0	-	11	MJ/kg
Empreinte CO ₂ , recyclage	*0,55	-	0,64	kg/kg
Fraction recyclée dans l'approvisionnement courant	40	-	44	%

■ Usages typiques

Ressorts, outillages, roulements à billes, galets et rouleaux ; vilebrequins, engrenages, éléments de tringlerie, couteaux et ciseaux, réservoirs sous pression.

© Dunod - La photographie est réservée aux usages éducatifs.

2

263

Annexe 4 :

12 • Les profils des matériaux

12.3 Polymères

12.3.17 Caoutchouc polychloroprène (Néoprène, CR)

■ Le matériau

Les polychloroprènes (Néoprène, CR), matériaux des combinaisons de plongée sont les principaux caoutchoucs synthétiques en dehors des pneus d'automobile. Synthétisés pour la première fois en 1930, ils sont obtenus par polycondensation du monomère 2-chloro-1,3-butadiène. Ses caractéristiques peuvent être modifiées par copolymérisation avec du soufre, avec d'autres chlorobutadiènes ou par mélange avec d'autres polymères pour obtenir une large gamme de propriétés. Les polychloroprènes sont caractérisés par une grande stabilité chimique, qui leur permet de résister à l'eau, à l'huile, à l'essence et aux rayonnements UV.

□ Composition

$$(\text{CH}_2-\text{CCl}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$$

■ Propriétés générales

Masse volumique	1 230	-	1 250	kg/m ³
Prix	*5,33	-	5,86	US\$/kg

■ Propriétés mécaniques

Module de Young	7×10^{-4}	-	0,002	GPa
Limite d'élasticité	3,4	-	24	MPa
Résistance à la traction	3,4	-	24	MPa
Résistance à la compression	3,72	-	28,8	MPa
Allongement à la rupture	100	-	800	%
Limite d'endurance à 10^7 cycles	*1,53	-	12	MPa
Ténacité	0,1	-	0,3	MPa.m ^{1/2}

■ Propriétés thermiques

Température de transition vitreuse	-48,2	-	-43,2	°C
Température maximum en service	102	-	112	°C
Conducteur ou isolant thermique ?	Bon isolant			
Conductibilité thermique	0,1	-	0,12	W/m.K
Capacité thermique massique	*2 000	-	2 200	J/kg.K
Coefficient de dilatation thermique	575	-	610	$10^{-6}/\text{K}$

■ Propriétés électriques

Conducteur ou isolant électrique ?	Bon isolant			
Résistivité électrique	1×10^{19}	-	1×10^{23}	$\mu\Omega\cdot\text{cm}$
Constante diélectrique	6,7	-	8	
Facteur de dissipation	* 1×10^{-4}	-	0,001	
Tension de claquage	$15,8 \times 10^6$	-	$23,6 \times 10^6$	V/m

302

302

12 • Les profils des matériaux

12.3 Polymères

Le Néoprène confère aux combinaisons de plongée leur souplesse et leur extensibilité.

■ Éco-proprétés : matériau

Contenu en énergie, élaboration primaire	*95,9	-	106	MJ/kg
Empreinte CO ₂ , élaboration primaire	*3,4	-	3,9	kg/kg
Besoin en eau	*126	-	378	L/kg

■ Éco-proprétés : mise en œuvre

Énergie pour le moulage du polymère	*7,77	-	8,57	MJ/kg
Empreinte CO ₂ au moulage du polymère	*0,62	-	0,68	kg/kg

■ Recyclage

Fraction recyclée dans l'approvisionnement courant	1	-	2	%
--	---	---	---	---

■ Usages typiques

Joints de freins, diaphragmes, tuyaux flexibles et joints toriques, bandes de roulement pour véhicules à chenilles, chaussures, combinaisons de plongée.

© 2012 - La photographie est illustrée par des images de stock

303